

На правах рукописи



Чиркова Алёна Анатольевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ
АКТИВИЗАЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГОРНЫХ МАШИН**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

ЕКАТЕРИНБУРГ

2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Сантов Виль Ирхужеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Мальцев Виктор Алексеевич

кандидат технических наук, доцент

Косолапов Анатолий Николаевич


Ведущая организация – Институт горного дела УрО РАН

Защита состоится *«22» 12* 2006 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.212.280.03 при ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» в зале заседаний ученого совета по адресу:
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан *«20» 11* 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

 Хазин М.И.

2006А
25538

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В горнодобывающей промышленности процессы разрушения и разделения твердых полезных ископаемых являются одними из наиболее масштабных, энергоемких и вследствие этого дорогостоящих операций. На эти цели затрачивается около 5% всей энергии, производящейся в нашей стране. В этих процессах широко используются вибрационные машины, а также машины с активными рабочими органами. Это обусловлено тем, что они во многих случаях обеспечивают более высокую, чем у обычных машин, технологическую эффективность. Исследования и практика показывают, что в результате усовершенствования горных машин можно добиться существенного роста показателей работы горно-добывающего предприятия. Поэтому дальнейшее развитие вибрационных машин и оборудования с активным рабочим органом имеет важное экономическое значение.

Вибрационные машины просты по конструктивному устройству. Основными конструктивными элементами являются привод и рабочий орган. Особенным разнообразием отличаются типы приводов, от схемы которых в большой степени зависит общая конструкция машины. В настоящее время наибольшее распространение в горной промышленности получили инерционные, эксцентриковые и поршневые (пневматические и гидравлические) вибраторы.

Альтернативой перечисленным механизмам являются использующие электрическую энергию линейные импульсные электромагнитные двигатели. Применение этих двигателей для создания возмущающей или ударной силы позволяет обойтись без сложной трансмиссии, так как передаточным элементом служит тяга. Основными недостатками известных конструкций являются относительно небольшая величина движущего импульса, а также низкий коэффициент полезного действия, что может привести в некоторых случаях к перегреву основного элемента линейного двигателя — обмотки.

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.-Петербург
09 2006 акт 1022

В этой связи исследования, направленные на изучение тепловых и электромеханических процессов для повышения эффективности работы горных машин с линейными импульсными электромагнитными двигателями, являются актуальной научной задачей.

Предмет исследования - горные машины с линейным импульсным электромагнитным двигателем.

Объект исследования - электромеханические и тепловые процессы в линейном импульсном электромагнитном двигателе.

Цель работы – повышение эффективности работы горных машин с импульсным линейным двигателем за счет выбора рациональных параметров и совершенствования конструкции на основе уточненной математической модели рабочего процесса.

Идея работы заключается в том, что повышение эффективности рабочего процесса линейного импульсного электромагнитного двигателя возможно путем выбора рациональных электромеханических параметров, учитывающих параметры динамической системы рабочего органа и режим работы горной машины.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Параметры динамической системы рабочего органа горной машины определяют параметры электромеханической системы импульсного линейного двигателя.

2. Критериями эффективности преобразования электрической энергии в механическую импульсным магнитно-индукционным двигателем и, соответственно, степени совершенства принятой конструкции являются величина движущего импульса и его отношение к эквивалентной намагничивающей силе, т.е. относительный электромеханический импульс.

3. Математическая модель магнитно-индукционного импульсного линейного двигателя должна учитывать величину присоединенной массы рабочего органа горной машины.

4. Линейные параметры магнитно-индукционного двигателя и плотность потока энергии в магнитопроводе и катушке ограничиваются одним из основных критериев работоспособности – теплостойкостью.

Научная ценность работы заключается в выявлении взаимосвязи электромеханических и силовых параметров и в разработке математической модели рабочего процесса магнитно-индукционного линейного двигателя.

Практическая ценность диссертации состоит в разработке методики расчета параметров частотных и низкочастотных линейных импульсных двигателей для ВТМ и электромолотов, а также разработке рациональной конструкции этих двигателей.

Достоверность и обоснованность основных научных положений, выводов и рекомендаций обоснована конкретным использованием положений теории вероятности и математической статистики, методов математического и физического моделирования, апробированными методами экспериментальных исследований и подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, относительное расхождение которых не превышает 10-15%.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы при проектировании резонансной вибрационной машины для уплотнения шихты в ОАО «Уралредмет» и для машины доводки золотосодержащих шлихов.

Апробация работы. Основные результаты работы и её отдельные положения докладывались на «Неделе горняка», Москва, 2004 г. и 2005 г.; III Международной научно-технической конференции «Нетрадиционные технологии и оборудование для разработки сложноструктурных МПИ», Екатеринбург, 2005 г.; 10-й Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 2005 г.; 8-й Международной научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта», Екатеринбург, 2005 г.; 11-й

Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург, 2006 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ в журналах, сборниках научных трудов, материалах международных конференций, в том числе 2 статьи в журнале из списка ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 89 наименований, содержит 122 страниц текста, 26 рисунков и 18 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса и задачи исследований

Главной целью конструктивного совершенствования рабочих органов горных машин является снижение энергоемкости технологического процесса и расширение их функциональных возможностей, что существенно повышает эффективность их работы. Одним из способов достижения этой цели является активизация рабочего органа при помощи различных механизмов.

Исследования, проведенные Ю.И. Анистратовым, Р.А. Матисом и другими учеными, показали, что активизация ковшей экскаваторов, стругов, рабочих органов проходческих комбайнов, уплотнителей, рыхлителей приводит к существенному повышению эффективности рабочего процесса.

По конструктивному исполнению средства активизации рабочих органов выемочно-погрузочных и вибротранспортных машин можно разделить на следующие группы: пневматические, гидравлические и гидропневматические, тепловые, инерционные, эксцентриковые, кривошипно-шатунные и электромагнитные.

Линейные электромагнитные двигатели используются в горной промышленности более 70 лет. По принципу действия эти машины, непосредственно преобразующие электрическую энергию в механическую, можно разделить на пять типов: электромагнитные импульсные механизмы (с ферромагнитным сердечником), магнитоэлектрические машины (с постоянным

магнитом), электродинамические машины (с подвижной обмоткой), индукционные машины, магнитно-индукционные машины (с ферромагнитным якорем, на котором имеется индукционное одно или несколько колец). Общим недостатком всех электромагнитных линейных двигателей является относительно низкий КПД.

Развитие теории подобия электромагнитных машин и разработку методов расчета линейных двигателей (электромагнитов) для вибротранспортных и ударных машин, питающихся переменным и постоянным током, осуществили Алабужев П. М., Буйлов А. Я., Гордон А. В., Лысов Н. Е., Москвитин А. И., Ряшенцев Н. П., Тер-Акопов А. К. и др. ученые.

Основы тепловых расчетов электрических аппаратов приведены в известных работах. Они позволяют определять температуру проводников обмотки (или другого элемента аппарата), обеспечивая этим их надежность и необходимый ресурс работы. Использование существующих методик теплового расчета магнитно-индукционных линейных двигателей с накопителем энергии в виде конденсаторной батареи не обеспечивает необходимую достоверность результатов. При подключении обмотки к конденсаторной батарее форма импульса тока отличается от синусоидальной и зависит от резонансной частоты электрического контура, которая в свою очередь зависит от положения якоря с индукционными кольцами в катушке и величины рабочего зазора. В существующих методиках расчетов магнитно-индукционных двигателей для ВТМ, масса рабочего органа которых значительно превышает массу якоря, не учитываются параметры динамической системы, что не позволяет оценить эффективность энергопреобразования. В связи с этим для определения рациональных параметров импульсных линейных двигателей необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить взаимосвязь параметров динамической системы рабочего органа горной машины и параметров электромеханической системы импульсного линейного двигателя.

2. Выбрать и обосновать критерий эффективности преобразования электрической энергии в механическую и, соответственно, степени совершенства принятой конструкции импульсного магнитно-индукционного двигателя.

3. Разработать математическую модель магнитно-индукционного импульсного линейного двигателя, учитывающую величину присоединенной массы рабочего органа горной машины.

4. Выявить рациональное соотношение габаритов магнитно-индукционного двигателя с плотностью потока энергии в магнитопроводе и обмотке, при котором обеспечивается стабильная работа ВТМ.

2. Исследование рабочего процесса электромагнитных импульсных механизмов

Технической функцией импульсных электромагнитных механизмов является преобразование электромагнитной энергии в механические импульсы требуемой величины и частоты, при которых обеспечивается высокая эффективность рабочего процесса горной машиной в течение заданного периода времени (наработки на отказ) при соответствии этих двигателей основным критериям работоспособности: прочности и теплостойкости. Теплостойкость определяет долговечность электромагнитных двигателей при частоте импульсов 4 Гц и более. Экспериментально установлено, что потеря работоспособности двигателя выражается в коротком замыкании витков обмотки статора и реже – заклинивании подшипников скольжения.

Согласно своему функциональному назначению, одним из главных параметров рабочего процесса импульсного электромагнитного двигателя, является импульс силы:

$$K_{13} = Ft_n, \quad (1)$$

где t_n – время действия силы F , с.

Величина этого параметра должна стремиться при прочих равных условиях к максимуму. Для частотных импульсных электромагнитных машин с конденсаторным аккумулятором энергии величина этого импульса должна быть согласована с параметрами динамической системы: величиной её приведенной массы (включающей массу груза) и жесткостью упругих элементов.

При определенном, не оптимальном сочетании емкости конденсаторной батареи, индуктивности обмотки и параметров динамической системы длительность импульса оказывается больше времени, за которое рабочий орган ВТМ отклонится на максимальное расстояние. В этом случае часть времени импульса движущая сила действует в противоположную направлению движения рабочего органа с якорем сторону и становится тормозящей, что вызывает дополнительные потери энергии. Для определения необходимого времени действия движущего импульса была составлена эквивалентная расчетная схема динамической системы ВТМ, которая представлена в виде одномассовой односвязной системы, без демпфирующего элемента.

Согласно законам электродинамики, величина движущего усилия пропорциональна току, осциллограммы которого для обмоток с различным числом витков приведены на рис.1. В первом приближении нелинейный закон изменения движущего усилия можно представить линейным, эквивалентным по площади фактическому.

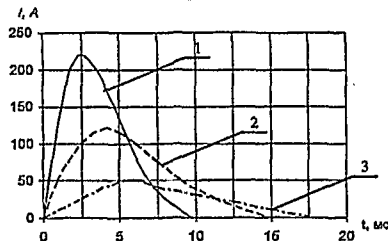


Рис. 1. Осциллограммы токов в катушке импульсного двигателя:

1 — 108 витков ; 2 — 250 витков ; 3 — 360 витков

Из дифференциального уравнения движения рабочего органа с якорем находится время (t_2) движения рабочего органа до крайнего положения.

Параметры обмотки и конденсаторной батареи должны быть согласованы таким образом, чтобы выполнялось соотношение

$$t_2 = (1,05 \dots 1,1)t_n. \quad (2)$$

При постоянной конфигурации и размерах магнитопровода один и тот же импульс силы можно получить, изменяя параметры обмотки и конденсаторов, определяющие число ампер-витков.

По эквивалентному числу ампер-витков невозможно в полной мере оценить рациональность принятых параметров магнитно-индукционного двигателя. В связи с этим предложен новый критерий (K_{29}) – относительный электромеханический импульс, т.е. отношение импульса силы к эквивалентной намагничивающей силе:

$$K_{29} = \frac{K_{19}}{0,5JW_n}, \quad (3)$$

где J – амплитуда тока в катушке, А; W – число витков катушки, t_n – время протекания тока в катушке, с.

По этим двум критериям, при прочих равных условиях, можно оценивать эффективность работы различных по параметрам обмоток и конденсаторов электромагнитных импульсных двигателей.

Относительно низкий КПД электромагнитных импульсных машин является причиной перегрева и затем отказа обмотки. КПД двигателя лучше всего оценивать по величине тепловой энергии, которая выделяется в обмотке за один цикл работы. Эту энергию возможно определить, если известно активное сопротивление (R) обмоток и ток (J), протекающий в ней за время импульса (t_n).

Тепловые потери энергии (E_R) в обмотке за время одного импульса определялись после интегрирования уравнения:

$$E_R = R \int J(t)^2 dt, \quad (4)$$

где R – электрическое сопротивление обмотки, Ом.

Уравнение для определения тепловых потерь в обмотке в первом приближении имеет вид

$$E_R = \frac{R t_n J^2}{3}. \quad (5)$$

Величина этих потерь определяет приращение температуры обмотки и, в конечном итоге, установившуюся избыточную температуру обмотки. Таким образом, с учетом формы импульса тока, протекающего в обмотке, третий критерий эффективности ($K_{3э}$) электромагнитных импульсных машин (тепловой критерий) можно записать в виде

$$K_{3э} = \Delta t_{in} = \frac{t_n J^2 \rho_m}{3 F^2 \rho C}, \quad (6)$$

где ρ_m – удельное сопротивление обмоточного провода, Ом·м; F – площадь сечения обмоточного провода, м²; ρ – плотность материала провода, кг/м³; C – теплоемкость материала обмоточного провода, Дж/(кг·К); Δt_{in} – приращение температуры провода обмотки за один импульс, К.

Более эффективным, при прочих равных условиях, будет двигатель, для которого значение этого критерия минимальное.

В магнитно-индукционном двигателе основными источниками тепла являются обмотка и индукционные кольца якоря. Распределение тепловых потоков в таком двигателе соответствует схеме, приведенной на рис. 2, где обозначено: \Rightarrow , \dashrightarrow – тепловые потоки, идущие от обмотки через корпус и через якорь, полюса, корпус в окружающую атмосферу; \longrightarrow – тепловой поток, идущий от якоря через полюса, корпус в окружающую атмосферу.

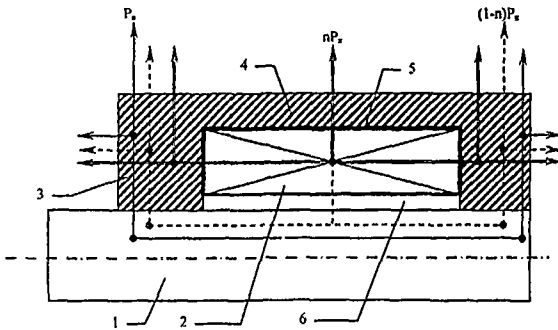


Рис. 2. Схема распространения теплового потока магнитно-индукционного двигателя:

1 – якорь; 2 – обмотка; 3 – полюса; 4 – корпус; 5 – наружная прокладка с воздушным зазором; 6 – внутренняя прокладка с воздушным зазором

При разработке эквивалентной расчетной схемы распространения теплового потока, соответствующей рис. 2, был использован метод электротепловой аналогии. Эта схема приведена на рис. 3.

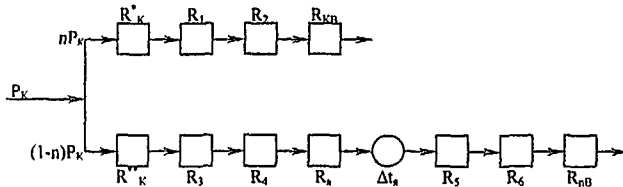


Рис. 3. Эквивалентная расчетная схема распространения теплового потока в магнитно-индукционном двигателе

Уравнения теплового равновесия для эквивалентной расчетной схемы имеют вид

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= nP_k [nR'_k + R_1 + R_2 + R_{кв}] = \\
 &= (1-n)P_k [(1-n)R''_к + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_а + R_n + R_{нб}] + P_k (R_5 + R_6 + R'_а + R_{нб}); \\
 \Delta t_я &= P_я (R''_я + R_5 + R_6 + R_{нб}),
 \end{aligned} \quad (7)$$

где Δt_0 – разность температур между наиболее нагретой частью обмотки и окружающей средой, К; R_2 – тепловое сопротивление корпуса двигателя, К/Вт; R_3 – тепловое сопротивление прокладки между обмоткой и якорем, К/Вт; R_4 – тепловое сопротивление якоря, К/Вт; R_5 – тепловое сопротивление полюса корпуса, К/Вт; R_6^* – тепловое сопротивление якоря, имеющего внутренний распределенный источник тепла, при передаче его вдоль продольной оси, К/Вт; n – коэффициент распределения теплового потока.

Избыточная температура обмотки определяется по формуле

$$\Delta t_0 = n P_K (n R_K^* + R_1 + R_{кв}). \quad (8)$$

Нагрев обмоткой якоря (второй тепловой режим) возможен при выполнении условия

$$\frac{P_{я}}{P_K} = \nu \leq \nu_{кр}, \quad (9)$$

где $P_{я}$, P_K – соответственно, мощность тепловых потерь в якоря и обмотке, Вт; ν – коэффициент соотношения потерь в якоря и обмотке; $\nu_{кр}$ – критическое значение коэффициента соотношения потерь в якоря и обмотке.

Критическое значение коэффициента $\nu_{кр}$ определяется согласно схеме (рис. 3) из формулы

$$\nu_{кр} = \frac{R_K^* + R_1 + R_{кв}}{R_K^{**} + R_5 + R_{пв} + R_4}, \quad (10)$$

где R_K^* – тепловое сопротивление обмотки, имеющей внутренний распределенный источник тепла, при передаче его через внешнюю стенку, К/Вт; R_1 – тепловое сопротивление электроизоляционной прокладки и воздушного зазора между обмоткой и корпусом двигателя, К/Вт; $R_{кв}$ – тепловое сопротивление распространению теплового потока от корпуса двигателя в воздух, К/Вт; R_K^{**} – тепловое сопротивление обмотки, имеющей внутренний распределенный источник тепла, при передаче его через внутреннюю стенку в якоря, К/Вт; R_4 – тепловое сопротивление воздушного зазора между обмот-

кой и якорем, К/Вт; R_3 – тепловое сопротивление воздушно-масляного зазора между якорем и полосами – корпусом двигателя, К/Вт; $R_{\text{пв}}$ – тепловое сопротивление распространению теплового потока от полосной части корпуса двигателя в воздух, К/Вт.

Для определения тепловых потерь в обмотке ($P_k = E_R f$) необходимо определить ток и время его протекания, которые зависят от индуктивности, в свою очередь, зависящую от положения индукционных колец в обмотке. Для корректировки формулы расчета индуктивности обмотки, предложенной в известных работах, были проведены эксперименты с магнитно-индукционными и электромагнитными двигателями.

Расчетные значения индуктивности обмотки магнитно-индукционного двигателя определялись из уравнения

$$L_p = \frac{k\mu_0 W^2 S^2}{V}, \quad (11)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м; W – число витков катушки; S – площадь сечения, через которое проходят магнитно-силовые линии, м²; k – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на индуктивность обмотки индукционных колец; V – объём, образованный вращением площади S относительно оси, лежащей в плоскости фигуры и не пересекающей её, м³.

В результате экспериментов было установлено, что в рабочем диапазоне относительных зазоров, величина поправочного коэффициента может быть принята равной 0,75. При этом погрешность расчета по формуле (11) в рабочем диапазоне относительных зазоров не превышает 15 % от индуктивности, определенной экспериментально.

Таким образом, можно определить максимальную величину тока в обмотке, время его протекания и эквивалентную намагничивающую силу:

$$J = U \sqrt{\frac{C}{L_p}} \exp\left(-0,5R\pi \sqrt{\frac{C}{L_p}}\right); \quad (12)$$

$$t_n = \pi \sqrt{CL_p}. \quad (13)$$

Условие работоспособности обмотки по критерию теплостойкости можно записать в виде

$$\Delta t + t_n \leq [t], \quad (14)$$

где t_n – температура окружающей среды (воздуха), °С; $[t]$ – допустимая температура нагрева провода обмотки, °С.

Основной характеристикой электромолотов, работающих с частотой до 10 Гц в соответствии с функциональным назначением, является энергия единичного удара, которая прямо пропорциональна квадрату движущего импульса силы. Для установления зависимости движущего импульса от эквивалентной намагничивающей силы, которая определяет параметры магнитно-индукционного двигателя, были проведены эксперименты, в которых фиксировались энергия заряда конденсаторов, напряжение их заряда, ток в обмотке, энергия удара. Эксперименты проводились с обмотками, которые имели одинаковые габариты и разное число витков, что достигалось путем намотки провода различного сечения.

Результаты статистической обработки данных эксперимента показаны на рис. 4, где приведено корреляционное поле зависимости движущего импульса магнитно-индукционного двигателя от эквивалентной намагничивающей силы.

Регрессионное уравнение имеет следующий вид:

$$Fl_n = 104,49 \exp\left(\frac{-220,41}{S_2}\right). \quad (15)$$

Корреляционное отношение для этой зависимости $\eta=0,89$, что свидетельствует о статистически значимой связи между соответствующими переменными. Эксперименты показали, что эквивалентная намагничивающая сила, при прочих равных условиях, практически прямо пропорциональна энергии заряда конденсаторной батареи.

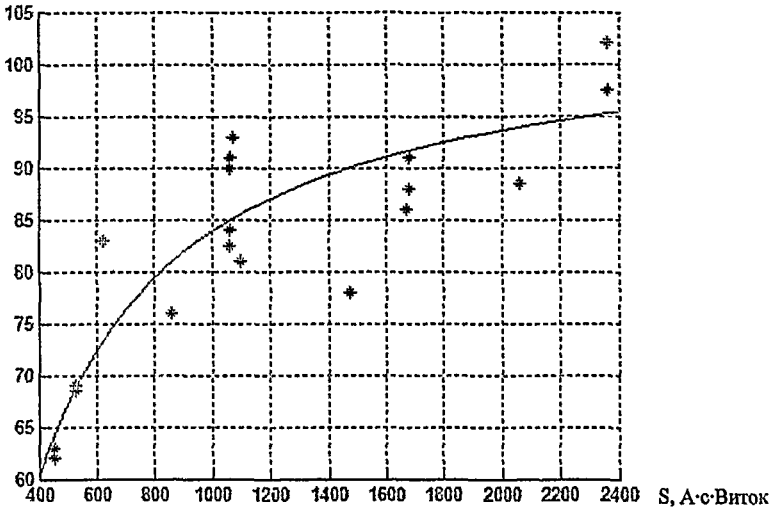
$F_{\text{дв}} \text{ Н}\cdot\text{с}$ 

Рис. 4. Зависимость движущего импульса от эквивалентной намагничивающей силы

Используя уравнения (11) и (12), получим уравнение, из которого определяется эквивалентная намагничивающая сила и, соответственно, движущий импульс:

$$S_3 = \frac{1}{2} \pi U C W \exp\left(-\frac{1}{2} R \pi \sqrt{\frac{C}{L_p}}\right). \quad (16)$$

Экспериментальная проверка подтвердила достоверность уравнения (16). Относительная ошибка расчетных и средних экспериментально определенных величин не превышает 6 %.

3. Экспериментальное исследование магнитно-индукционных двигателей на физической модели

Для проверки достоверности математических моделей был разработан и изготовлен два экспериментальных стенда — физическая модель ма-

шины, которая может выполнять как функцию транспортирующей машины, так и классифицирующей установки, и частотный электромолот. Первая модель по своим технологическим параметрам по существу является промышленным образцом, который применяется при относительно небольших объемах производства и в лабораторных исследованиях. На рис. 5 приведен общий вид экспериментальной установки.

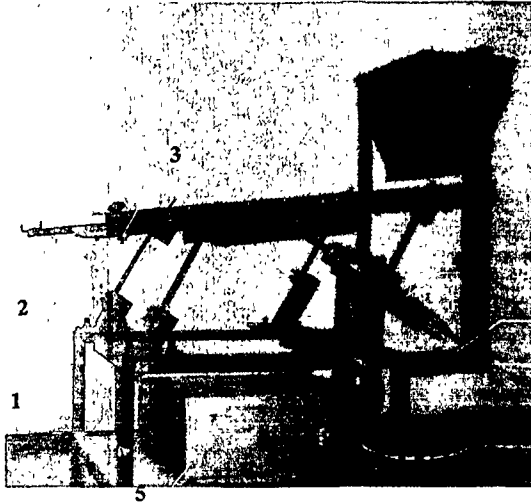


Рис. 5. Общий вид экспериментальной ВТМ:

1 – рама машины; 2 – упругие опоры; 3 – рабочий орган (короб с ситами); 4 – импульсный магнитно-индукционный двигатель; 5 – источник питания, 6 – датчик положения рабочего органа

У второго экспериментального стенда движущая масса равнялась массе якоря, а возврат якоря в исходное положение осуществлялся пружиной.

В момент подачи импульса скорость якоря была равна нулю. Амплитуда колебаний рабочего органа ВТМ и скорость якоря второго стенда изменялись за счет подачи различных по величине движущих импульсов.

В ходе эксперимента фиксировались следующие параметры: величина тока в обмотке, начальное напряжение конденсаторной батареи, отклонение

рабочего органа от положения равновесия, частота собственных колебаний, положение якоря в момент начала протекания тока в обмотке, температура отдельных частей двигателя, активное сопротивление катушки во время работы. Для замера этих параметров использовались соответствующие средства измерения, прошедшие поверку и тарировку в установленном порядке.

Величину движущего импульса ($F_{тн}$) магнитно-индукционного двигателя непосредственно измерить практически невозможно, поэтому был применен косвенный способ измерения, основанный на законах сохранения количества движения и сохранения энергии.

В результате статистической обработки результатов экспериментов были получены следующие уравнения регрессии:

$$F_{тн} = 17,4 \exp(-120/S_3); \quad (17)$$

$$S_3 = 54,8 + 4,88 E_K; \quad (18)$$

$$E_R = -0,51 + 0,28 E_K; \quad (19)$$

$$F_{тн}/S_3 = 10^{-4} (489 + 2,18q - 0,058q^2), \quad (20)$$

где S_3 - эквивалентная намагничивающая сила, А·с/виток; E_K - энергия заряда конденсаторов, Дж; q - удельный поток энергии, Вт/см².

Уравнения справедливы при $E_K > 2$ Дж.

Корреляционные отношения: $\eta_1 = 0,78$; $\eta_2 = 0,897$; $\eta_3 = 0,58$; $\eta_4 = 0,715$.

С надежностью 95 % для уравнений (17, 18) и с надежностью 80 % для уравнений (19, 20) по критерию Стьюдента корреляционные отношения значимы. С надежностью 95 % по критерию Фишера уравнения (17-20) адекватны, а по критерию Кохрена дисперсии однородны.

На рис. 5 приведены зависимости движущего импульса ($F_{тн}$) от эквивалентной намагничивающей силы (S_3) для различных параметров обмотки и параметров динамической системы ВТМ.

Зависимости движущего импульса от эквивалентной намагничивающей силы для ВТМ имеют такой же характер, как и для электромолотов, и под-

тверждают адекватность математических моделей, приведенных во второй главе (рис. 6).

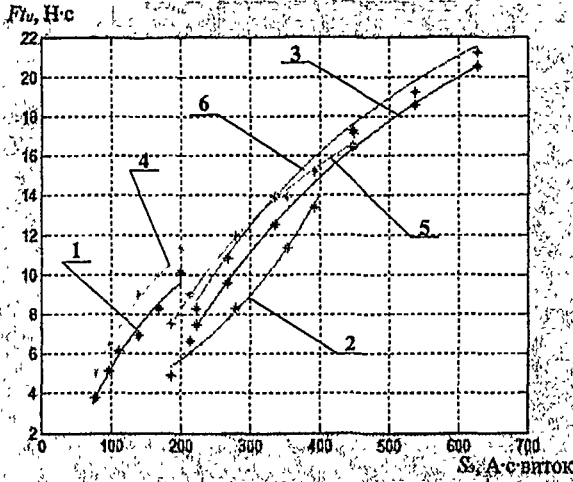


Рис. 6. Зависимость движущего импульса от эквивалентной намагничивающей силы ($W=930$):

1, 2, 3— $m_{po}/m_a=8,6$, резонансная частота 5,1 Гц; 4, 5, 6— $m_{po}/m_a=17,8$, резонансная частота 4 Гц; 1, 4— $t_u=30$ мс; 2, 5— $t_u=50$ мс; 3, 6— $t_u=60$ мс

Важнейший параметр магнитно-индукционного двигателя – КПД определяется энергетическим методом. Так как потери на трение в опорах (подшипниках скольжения) составляют по данным измерений в пределах 3...6% от кинетической энергии якоря, то с достаточной для инженерных расчетов точностью КПД двигателя можно определить из формулы

$$\eta = \left(\frac{\Delta R_1}{R_{1н}} - \frac{\Delta R_2}{R_{2н}} \right) \frac{R_{1н}}{\Delta R_1}, \quad (21)$$

где $R_{1н}$, $R_{2н}$ – соответственно начальные сопротивления обмотки с застопоренным ротором (якорем) и в переходном режиме работы, Ом; ΔR_1 , ΔR_2 – разность активных сопротивлений обмотки до и после опыта, Ом.

На рис. 7 приведена зависимость КПД магнитно-индукционного двигателя от энергии, потребляемой им в единицу времени.

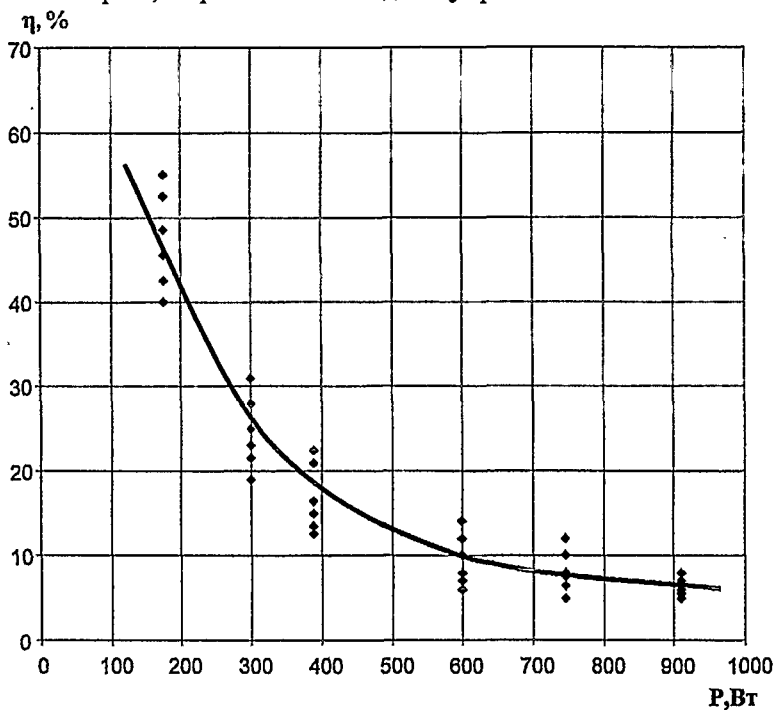


Рис. 7. Зависимость КПД магнитно-индукционного двигателя от энергии, потребляемой катушкой в единицу времени

Уравнение регрессии имеет вид

$$\eta = 4,7 \exp\left(\frac{419,7}{E_k f}\right), \quad (22)$$

где f — частота движущих импульсов, Гц.

Корреляционное отношение равно 0,75. С надежностью 95% корреляционное отношение статистически значимо, уравнение (22) адекватно, а дисперсии однородны.

Приведенная на рис. 7 зависимость показывает, что для данных габаритов обмотки нецелесообразно увеличивать плотность потока энергии больше

25 Вт/см². В противном случае КПД двигателя будет меньше 15 %, что существенно снизит эффективность его работы.

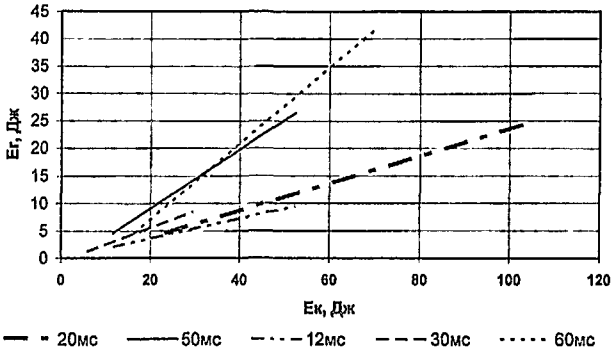


Рис. 8. Зависимость тепловых потерь в обмотке от энергии заряда конденсаторов при различной длительности движущего импульса

Экспериментально установлено, что тепловые потери растут с увеличением плотности потока энергии, которая прямо пропорциональна энергии заряда конденсаторов. Это видно из рис. 8, на котором приведена зависимость тепловых потерь в обмотке от энергии заряда конденсаторов при различном времени протекания тока (12, 20, 30 и 50 мс).

4. Выбор основных параметров магнитно-индукционного двигателя для вибротранспортных машин

В четвертой главе приводится методика расчета основных параметров магнитно-индукционного двигателя ВТМ.

Для проведения теплового расчета частотного магнитно-индукционного двигателя уточняются геометрические размеры обмотки, якоря, полюсов, корпуса (статора) и зазоров между ними. По принятым размерам, материалам основных деталей и их конструкции составляется эквивалентная расчетная схема распространения теплового потока магнитно-

индукционного двигателя. Структурная схема алгоритма расчета параметров магнитно-индукционного двигателя приведена на рис. 9.

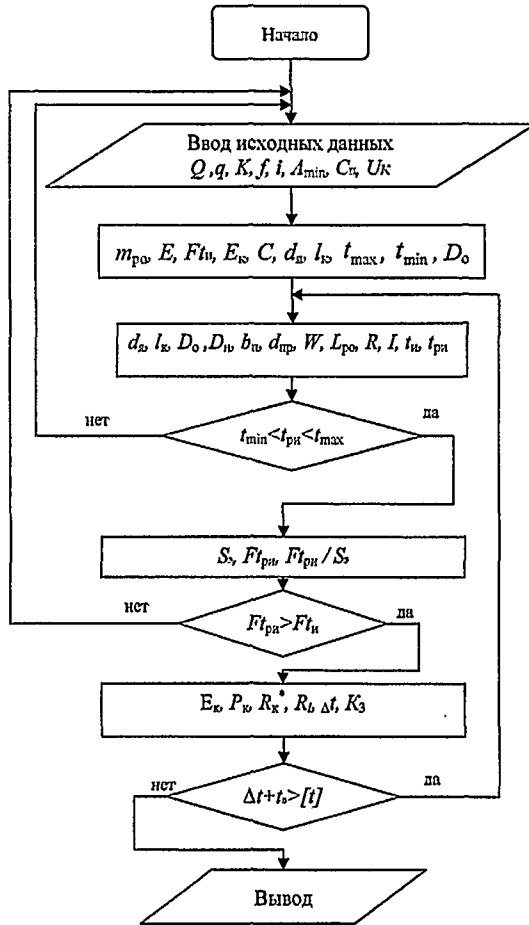


Рис. 9. Структурная схема алгоритма расчета параметров магнитно-индукционного двигателя

По данному алгоритму был произведен выбор параметров магнитно-индукционных двигателей виброуплотнителя шихты. Результаты испытаний этих двигателей подтвердили обоснованность принятых режимных и конст-

руктивных параметров. Разгон ведомой массы до максимальной амплитуды происходил за 4-5 с, что вполне приемлемо для таких установок. Установившаяся избыточная температура обмоток не превысила допустимого уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на базе выполненных исследований, решена актуальная задача повышения эффективности работы вибротранспортных машин с импульсным линейным двигателем за счет выбора рациональных параметров и совершенствования конструкции на основе уточненной математической модели рабочего процесса.

Основные научные выводы и практические рекомендации заключаются в следующем:

1. Рациональное время действия движущего импульса должно быть на 5-10 % меньше времени достижения рабочим органом ВТМ крайнего положения. При постоянной эквивалентной намагничивающей силе величина движущего импульса зависит от времени его действия и существенно уменьшается при снижении последнего.

2. Величина движущего импульса и его отношение к эквивалентной намагничивающей силе являются наиболее объективными критериями степени совершенства и эффективности работы различных по параметрам конденсаторов и обмотки электромагнитных импульсных двигателей.

3. Тепловой критерий работоспособности является третьим критерием эффективности работы импульсных частотных магнитно-индукционных двигателей. Тепловые потери в обмотке пропорциональны энергии заряда конденсаторов, которая, соответственно, определяет плотность потока энергии.

Предложенная эквивалентная расчетная схема распространения теплового потока в двигателе и соответствующие математические модели позволяют с необходимой точностью (относительная ошибка не превышает 15 %) определять установившуюся избыточную температуру деталей двигателя.

4. Анализ электромеханических процессов работы магнитно-индукционного двигателя позволил уточнить формулу для расчета индуктивности обмотки с находящимся в ней токопроводящим (индукционным) кольцом.

5. Величина движущего импульса нелинейно возрастает с ростом эквивалентной намагничивающей силы, что объясняется ростом потерь в магнитопроводе и обмотке при увеличении удельного потока энергии (отношении энергии заряда конденсаторов к времени импульса и площади магнитопровода - якоря).

6. Увеличение относительного электромеханического импульса целесообразно производить за счет увеличения удельного потока энергии, т. е. увеличения энергии конденсаторов. Рациональные значения относительного электромеханического импульса лежат в диапазоне изменения удельного потока энергии от 10 до 30 Вт/см².

7. КПД магнитно-индукционного двигателя зависит от плотности потока энергии, которая не должна быть больше 25 Вт/см². В противном случае КПД двигателя будет меньше 15 %, что может привести к потере работоспособности из-за перегрева обмотки и снизит эффективность его работы.

8. Результаты диссертационной работы использовались при проектировании вибрационной установки для уплотнения шихты лигатуры в ОАО «Уралредмет».

Основные научные результаты диссертации опубликованы

в следующих работах

Статьи, опубликованные в ведущем рецензируемом научном журнале, входящем в перечень ВАК

1. Чиркова А. А. Исследование взаимосвязи электромеханических и силовых параметров магнитно-индукционного линейного импульсного двигателя // Известия вузов. Горный журнал. – 2005 г. - №6. – С. 101-106.

2. Чиркова А. А. Исследование энергоемкости рабочего процесса импульсного двигателя в приводе рабочего органа горной машины / Чиркова А. А., Афанасьев А. И., Костенчук С. Ф. // Известия вузов. Горный журнал. – 2006 г. - № 1. – С. 110-115.

Статьи, опубликованные в материалах конференций

3. Чиркова А. А. Комплексный критерий эффективности рабочего процесса вибротранспортных машин / Чиркова А. А., Афанасьев А. И., Братыгин Е. В. // Проблемы карьерного транспорта // Материалы VIII Международной научно-практической конференции, г. Екатеринбург. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – С. 48-52.

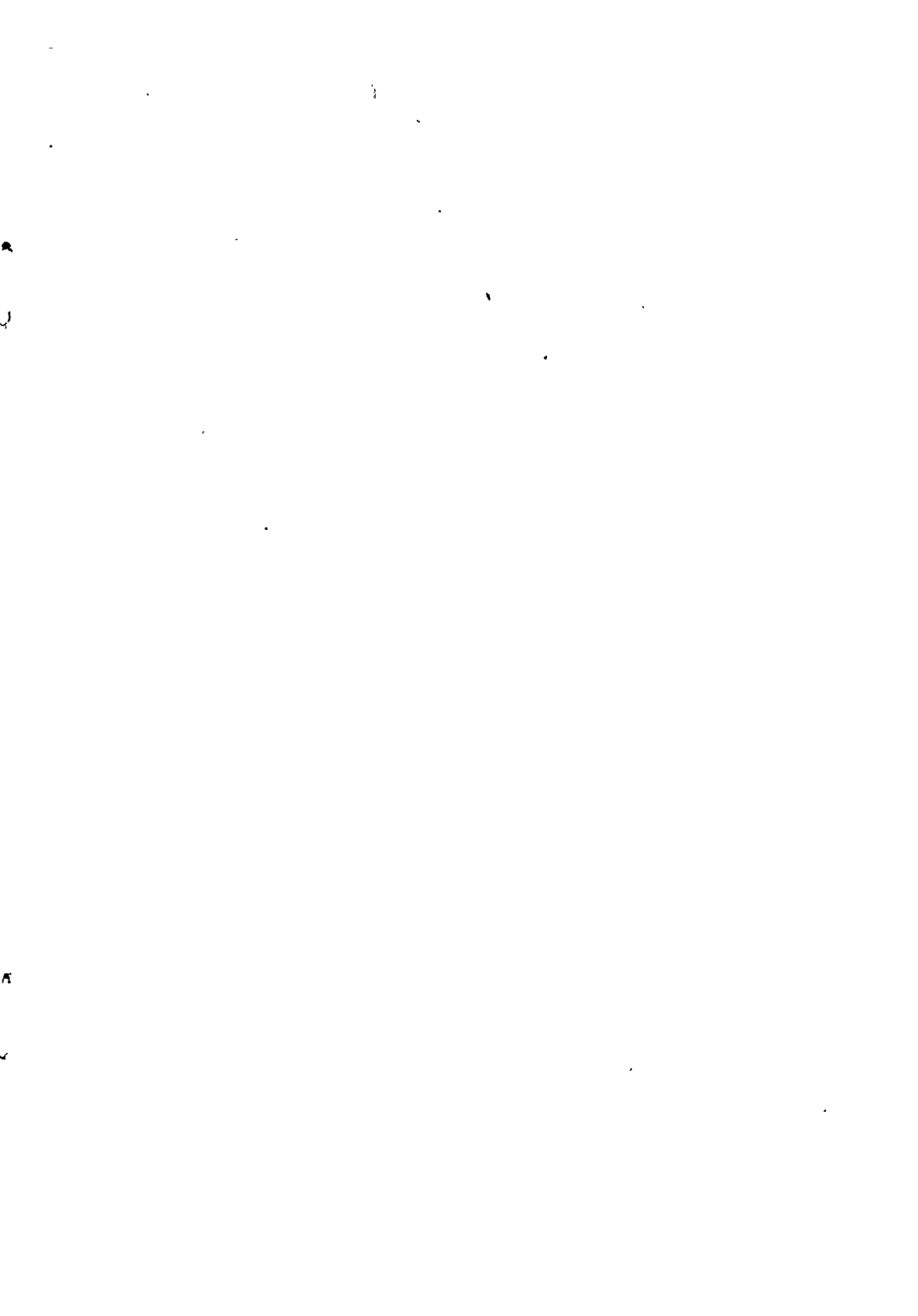
4. Чиркова А. А. Оценка эффективности работы электромагнитного молота / Чиркова А. А., Афанасьев А. И., Костенчук С. Ф., Саятов В. И. // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности», г. Екатеринбург, 15 - 17 мая 2006 г. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – С. 35-39.

5. Чиркова А. А. Математическая модель теплового режима вибротранспортных машин // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности», г. Екатеринбург, 15-17 мая 2006 г. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006.– С. 48-56.

6. Чиркова А. А., Выбор основных параметров магнитно-индукционного двигателя для вибротранспортных машин // Материалы 11-й Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», г. Екатеринбург, 16-20 мая 2006 г. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – С. 318-324.

Подписано в печать 17.11.06 г. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Печать на ризографе. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз., *№216*

Издательство УГГУ
Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники
издательства УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет



2006 A
25338

№ - - 2 5 5 3 8